

УДК 004.052.001.57

doi:10.20998/2413-4295.2018.09.20

ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОРФОЛОГІЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ РЕМОНТІВ ХІМІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

О. С. САВЕЛЬЄВА¹, О. В. ТОРОПЕНКО¹, А. В. ТОРОПЕНКО^{1*}

¹ кафедра нафтогазового та хімічного машинобудування, Одеський національний політехнічний університет, Одеса, УКРАЇНА

*email: alla.androsyk@gmail.com

АНОТАЦІЯ Розглянута можливість застосування інформаційної структурної технології визначення показника структурної відмовостійкості для підвищення ефективності планування технічного обслуговування і ремонтів технічних об'єктів. Технологія базується на побудові морфологічної моделі об'єкта та дозволяє отримувати значення величини ймовірності безвідмовної роботи системи при структурній подібності її моделі нейронподібній мережі. Запропоновано механічний аналог повторного навчання мережі вважати ремонт технічних об'єктів.

Ключові слова: відмовостійкість; надійність технічних систем; організація ремонтів; моделювання

APPLICATION OF THE INFORMATION MORPHOLOGICAL MODEL FOR PLANNING OF REHABILITATION OF CHEMICAL EQUIPMENT

O. SAVELEVA¹, O. TOROPENKO¹, A. TOROPENKO¹

¹ Department of Oil, Gas and Chemical Mechanical Engineering, Odessa National Polytechnic University, Odessa, UKRAINE

ABSTRACT For systems with loaded backup, the design process involves a large number of discrete selection operations among various types of components based on their reliability or weight in the overall fault tolerance of the system. To calculate and design objects of chemical engineering, the calculation of reliability requires a sufficient amount of initial data. These data can be obtained from directories, based on the results of long and costly tests. Very often these data are extremely difficult to obtain or they simply are not available. However, the lack of such information or the inability to obtain it can not serve as a reason for refusal to carry out an assessment of the reliability of the object at any stage of its life cycle. One of the possible ways of obtaining information for determining the optimal method of the corresponding structural scheme is the use in the design and development of the design of chemical equipment information structural technology, which allows you to make a certain assessment of the probability of trouble-free operation of complex systems with loaded backup and predict the state of the system in the process of its degradation on the basis construction of information morphological model of complex object. The aim of the work is to increase the effectiveness of the design and operation of technical objects through the effective organization of repair works using the information morphological model. The technology is based on the construction of the morphological model of the object and allows obtaining the value of the probability value of the fail-safe operation of the system under the structural similarity of its model of the neural network. The mechanical analogue of re-training of the network is considered as the repair of technical objects.

Keywords: fault tolerance; reliability of technical systems; organization of repairs; modeling

Вступ

Об'єкти хімічного машинобудування, як правило, можна віднести до складних технічних об'єктів, розрахунок надійності яких на всіх етапах їх життєвого циклу є процедурою встановлення значень відповідних показників з використанням методів, що базуються на їх визначенні за довідниковими даними про надійність елементів об'єкта, даними про надійність об'єктів-аналогів, даними про властивості матеріалів та іншої інформації, яку може отримати спеціаліст на момент розрахунку [1, 2].

Недостатня надійність об'єкта призводить до величезних витрат на його ремонт, простою машин, припинення постачання населення електроенергією, водою, газом, транспортними засобами, невиконання відповідальних завдань, іноді до аварій, пов'язаних з великими економічними втратами, руйнуванням великих об'єктів і людськими жертвами [3, 4]. Чим

менше надійність машин, тим більші партії їх доводиться виготовляти, що призводить до перевитрат металу, зростання виробничих потужностей, завищення витрат на ремонт і експлуатацію.

Розрахунок надійності технічного об'єкта має передувати аналіз умов його експлуатації і конструкції. Під час аналізу складного технічного об'єкту встановлюються елементи (складальні одиниці, деталі), відмова яких призводить до відмови об'єкта, і взаємозв'язок між елементами, які відмовляють; виявляють фактори, що призводять до руйнування елементів об'єкта, встановлюють відповідний їм характер прояви руйнування (поступовий або раптовий) та можливість спостереження за руйнуванням (або його проявом) [2, 5]. Наявність останньої обставини дає можливість попереджати відмови шляхом своєчасного проведення ремонту (технічного обслуговування) і є

основною при визначенні системи планово-попереджувальних ремонтів і технічного обслуговування [2, 6].

Мета роботи

Метою роботи є підвищення ефективності процесів проектування та експлуатації технічних об'єктів шляхом ефективної організації проведення ремонтних робіт з застосуванням інформаційної морфологічної моделі.

Викладення основного матеріалу

При створенні працездатних і високонадійних хімічних об'єктів має бути забезпечена надійність проектних рішень; конструкційна, експлуатаційна надійність; надійність автоматизованих систем управління технологічними процесами та надійність технологічної топології [7]. Для досягнення цієї мети на кожній стадії застосовуються відповідні методи для забезпечення та підвищення надійності. Зокрема, на стадії проектування має бути виконана розробка високонадійних елементів та вузлів, вибрані раціональні конструктивні і технологічні схеми, оптимальні режими та номенклатура нормованих показників надійності. Розрахунки здійснюються з використанням науково обґрунтованих методик розрахунку надійності і прогнозування ресурсу з урахуванням всіх можливих умов експлуатації, внутрішніх процесів і зовнішніх впливів [1, 7].

Для підвищення надійності об'єктів хімічного машинобудування, в першу чергу, необхідно проаналізувати можливість підвищення надійності окремих елементів, причому ефект буде тим значніше, чим складніше система і чим більше в ній елементів. Однак найчастіше більш надійні елементи мають великі габарити і масу, більш складну власну структуру та високу вартість. Крім того, здійснення деяких методів підвищення надійності елементів часто вимагає проведення складних конструктивних, технологічних, експлуатаційних та організаційних заходів, тому в кожному конкретному випадку необхідно співвіднести корисний ефект від підвищення надійності елемента з витратами на її здійснення.

Одним із основних засобів забезпечення необхідного рівня надійності є резервування. В хімічному машинобудуванні надійність невідновлюваних резервованих елементів підвищують за рахунок: загального і окремого резервування з постійно включеним резервом; загального і окремого резервування способом заміщення; ковзного резервування. Однак, використання останнього способу забезпечення необхідної надійності можливе лише при наявності спеціальних діагностичних пристроїв, які забезпечать можливість оперативно визначити несправний елемент і підключити замість нього резервний [2, 8].

Кожен із елементів, які входять до складу виробу, може резервуватися будь-яким із способів. Правильний вибір структури моделі складної системи забезпечує не тільки оптимальний підбір обладнання, але й дозволить в подальшому мінімізувати витрати, наприклад, на купівлю обладнання, проведення ремонтів чи гарантувати відмовостійкість системи на протязі необхідного проміжку часу.

Для систем з навантаженим резервуванням процес проектування пов'язаний з великою кількістю дискретних операцій вибору серед різних типів компонентів на основі їх надійності чи ваги в загальній відмовостійкості системи [10].

Резервування дозволяє створювати об'єкти, надійність яких вища, ніж надійність елементів, що їх складають, однак можливості застосування резервування обмежені через збільшення маси і виробничі площі системи, а, також, і через підвищення вартості одиниці продукту в порівнянні з нерезервованими.

Це призводить до задачі вибору оптимального способу резервування і оптимального числа резервних елементів для таких систем, що мають мережеву структуру і є NP -складною задачею [1, 2].

За умови визначення надійності системи:

$$\prod_{i=1}^s R_i(x_i | k_i) \geq R \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^{m_i} x_{ij} \geq k_i, \quad \forall i$$

де R_i – надійність i -ї підсистеми; R – обмеження на величину надійності;

$$x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im_i}), \quad n_i = \sum_{j=1}^{m_i} x_{ij}; \quad x_{ij} - \text{кількість } j\text{-их компонентів, використаних в } i\text{-тій підсистемі, } x_{ij} \in (0, 1, 2, \dots), k_i - \text{кількість паралельно з'єднаних компонентів для кожної підсистеми } n_i, m_i - \text{кількість функціонально однакових компонентів для кожної підсистеми } i, \text{ якщо верхня межа для } n \text{ не обмежена, то кількість } N \text{ можливих структурних конфігурацій також не обмежена.}$$

Якщо ж таку межу встановлюють (n_{\max}), то в результаті з'являється можливість встановити загальну кількість варіантів конфігурацій (елементного складу) системи, розглядаючи вибір елементного складу компонентів для кожної підсистеми як задачу про розміщення. Загалом, кількість унікальних варіантів побудови системи складе:

$$N = \prod_{i=1}^s \left[\binom{m_i + n_{\max}}{m_i} - \binom{m_i + k_i - 1}{m_i} \right]. \quad (2)$$

Наприклад, для $s = 6$, $m_i = 10$ і $n_{\max} = 8$ можливо

понад $6,9 \cdot 10^{27}$ різних варіантів побудови системи. Тому методи прямого перебору варіантів можуть виявитися занадто тривалими в часі [9].

Для об'єктів хімічного машинобудування забезпечення виконання певних заходів для отримання необхідної інформації, які дозволять провести розрахунки визначених показників надійності, дуже часто є вкрай складним і вартісним завданням. Однак відсутність такої інформації або неможливість одержання не може служити причиною для відмови від проведення оцінювання надійності об'єкту на будь-якому етапі його життєвого циклу [10, 11].

Забезпечення спеціаліста необхідними відомостями є процесом доволі трудомістким, як і процес накопичення відповідних статистичних даних, оскільки структура досліджуваного об'єкта може виявитися складною, номенклатура виробів, з яких він складається, на різних етапах його життєвого циклу, може змінюватися (ремонт, реінжиніринг), а для вирішення питань, пов'язаних з визначенням показників надійності необхідна відповідна математична, програмна та інформаційна підтримка [3, 10]. Одним із можливих шляхів отримання інформації для визначення оптимального методу резервування та вибору відповідної структурної схеми є використання в процесі проектування та розробки конструкції хімічного обладнання інформаційної структурної технології, яка дозволяє здійснити оцінку ймовірності безвідмовної роботи складних систем з навантаженим резервуванням та прогнозувати стан системи в процесі її деградації на основі побудови інформаційної морфологічної моделі складного об'єкту (рис. 1) [10 – 12].

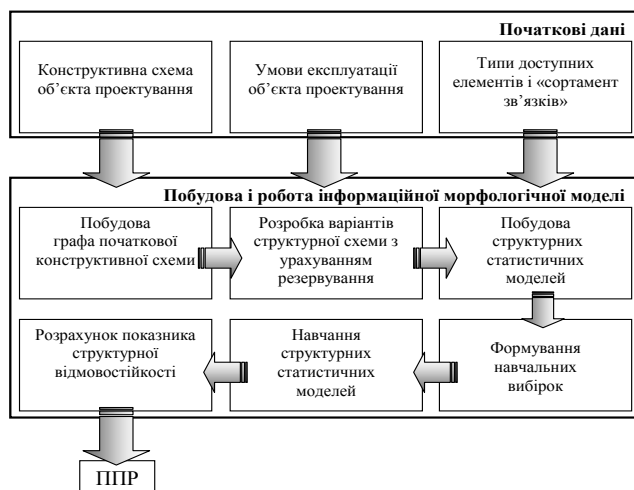


Рис. 1 – Схема визначення показника структурної відмовостійкості за допомогою інформаційної морфологічної моделі

Запропонована інформаційна структурна технологія дозволяє отримувати значення величини ймовірності безвідмовної роботи системи при

структурній подібності її моделі нейроподібній мережі. Перевагою використання нейронних мереж є їх достатня ефективність моделювання для випадків нелінійної і статистично значимої взаємодії. Недоліком – необхідність навчання, а також приблизна оцінка ймовірності безвідмовної роботи системи [13, 14].

Інформаційна технологія, яка забезпечує його визначення за допомогою морфологічної моделі виглядає наступним чином. На початку розглядається конструктивна схема об'єкта та пропонуються варіанти її структурної моделі з урахуванням умов експлуатації і можливими відмовами, зв'язками між окремими елементами системи та видами резервування [15]. Для кожного з варіантів будується інформаційна морфологічна модель і розраховується показник структурної відмовостійкості. Тобто з'являється можливість здійснювати порівняння структур складних об'єктів на основі величини $K_{СВ}$. Відмови, які відбуваються в реальних технічних об'єктах, при відтворенні їх на морфологічній моделі тотожні «пошкодженню» структури моделі – вилученню елементів та зв'язків між ними. Кількість вилучених елементів корелюється з працездатністю системи і обмежується наперед заданим її рівнем [5].

Нехай, наприклад, схема об'єкта представлена у вигляді нейроподібної трьохшарової мережі, яка має $N = 40$ елементів. Поступове пошкодження елементів призводить до зниження ймовірності безвідмовної роботи $P_{СИС1}$ (розпізнаванню образу) і графік такої функції має вигляд (рис. 2) [11].

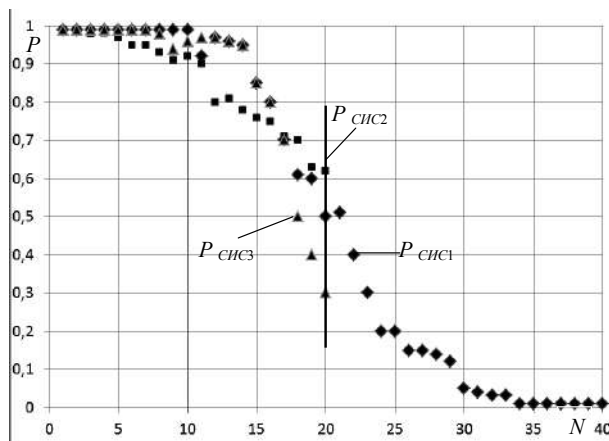


Рис. 2 – Вигляд розподілів значень ймовірності безвідмовної роботи при моделюванні поведінки технічної системи

Можна припустити, що ремонт технічного об'єкта після виходу з ладу (наприклад, 20 елементів) є тотожним до навчання морфологічної моделі вже з іншими ваговими коефіцієнтами, які будуть тотожні до змінених механічних властивостей елементів після їх ремонту або відновлення, а ймовірність безвідмовної роботи системи ($P_{СИС2}$) знову стане близькою до одиниці. Повторення цих операцій для

наступного (чергового) ремонту призведе до появи нового розподілу. Після певної кількості змін в структурі моделі повторне перенавчання не дасть напередзаданого значення надійності ($P_{СИС3}$) [16].

Загальний вигляд функцій $P_{СИС i}(t)$ для різних станів системи можна представити у вигляді

$$P_{СИС i} = f_i(n, N_{2(i-1)}); \quad 0 \leq i \leq I; \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

де i – поточний номер повторного навчання; I – загальна кількість навчань; $N_{2(i-1)}$ – кількість непошкоджених елементів інформаційної морфологічної моделі після $(i - 1)$ -го повторного навчання.

Очевидно, що вид розташування точок функцій розподілу для систем з певною структурою залежить не тільки від кількості вилучених елементів і зв'язків між ними, але і від кількості тих елементів, що залишилися неушкодженими після чергової ітерації повторного навчання. Задаючи необхідну та економічно доцільну глибину відновлення при обмеженнях на сумарні витрати на експлуатацію і ремонт можливо вирішувати задачу оптимізації ремонтних робіт та встановлювати час початку їх проведення.

Обговорення результатів

Відмовостійкість технічних об'єктів визначена як інтегральний показник, який залежить від двох параметрів: моменту початку виходу з ладу окремих елементів і тривалості нестійкого стану працездатності об'єкта (вздовж осі кількості пошкоджень).

Жорстке прив'язування структури моделі до структури модельованого технічного об'єкта залишає можливість відновлення структури пошкодженої моделі тільки при відповідному топологічноподібному відновленні (ремонті) технічного об'єкта.

Використання топологічноподібної до технічного об'єкта структурної морфологічної моделі, дозволяє отримувати значення показника структурної відмовостійкості і застосовувати його для визначення надійності. Однак, повторне навчання після кожного одиничного пошкодження не вирішує задачу підвищення відмовостійкості, оскільки існує ймовірність, що після наступного пошкодження система стане непрацездатною.

Розраховуючи показник структурної відмовостійкості для множини $P_{СИС i}(t)$ (рис. 2) можна підібрати такі значення моментів повторного навчання (тобто планувати ремонти), які забезпечать найбільше значення $K_{СВ}$ та підібрати, наприклад, $K_{СВ0}$ та $K_{СВ1}$, таким чином, щоб визначити мінімальне значення їх суми:

$$K_{СВ0} = \sum_{n=n_0}^{n_0^{**}} [P_{СИС0}(t) \log_2 P_{СИС0}(t) - (1 - P_{СИС0}(t)) \log_2 (1 - P_{СИС0}(t))]; \quad (4)$$

$$K_{СВ1} = \sum_{n=n_0}^{n_0^{**}} [P_{СИС1}(t) \log_2 P_{СИС1}(t) - (1 - P_{СИС1}(t)) \log_2 (1 - P_{СИС1}(t))]; \quad (5)$$

де $K_{СВ0}$ – показник структурної відмовостійкості об'єкта з початковою (прийнятою) структурою; $K_{СВ1}$ – показник структурної відмовостійкості ремонтovanого об'єкта.

Висновки

В результаті проведених досліджень встановлено, що для планування організації ремонтних робіт технічних об'єктів при структурній подібності моделі об'єкта до нейроподібної мережі можливо застосовувати інформаційну технологію визначення показника структурної відмовостійкості, яка базується на побудові та навчанні структурної морфологічної моделі. Маючи відомості щодо структури об'єкта та навантажень, які він сприймає, є можливість певним чином оцінити структурну відмовостійкість технічного об'єкта, наприклад, на стадії проектування, тобто, з'являється можливість виконати таку оцінку різних структур одного технічного об'єкта з різними способами резервування за величиною показника структурної відмовостійкості $K_{СВ}$.

Запропоновано механічним аналогом повторного навчання мережі вважати ремонт технічних об'єктів.

Визначено, що відмовостійкість є інтегральним показником, величина якого залежить від моменту початку порушення працездатності і тривалості вздовж осі кількості пошкоджень нестійкого стану технічного об'єкта. Повторне навчання моделі не вирішує задачу підвищення відмовостійкості, таким чином клас відмовостійкості при збільшенні повторних навчань повинен проходити через максимум.

Список літератури

1. Романов, В. Н. Техника анализа сложных систем / В. Н. Романов. – СПб.: СЗТУ, 2011. – 287 с.
2. Рябинин, И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем / И. А. Рябинин – СПб: СПбГУ, 2007. – 326 с.
3. Котенко, Н. А. Морфологические модели надежности энергетического оборудования / Н. А. Котенко, Г. А. Оборський, О. С. Савельева // *Моделирование та інформаційні технології: зб. наук. праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г. С. Пухова*. – 2010. – Вип. 58. – С. 70-75.

4. **Miao, Y.** Reliability Evaluation and Improvement Approach of Chemical Production Man-Machine-Environment System / **Y. Miao, R. Kang, X. Chen** // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2017. – 274 (1). – doi: 10.1088/1757-899X/274/1/012004.
5. **Савельева, О. С.** Критерии отказоустойчивости технических систем / **О. С. Савельева** // *Тр. Одесс. политехн. ун-та*. – 2008. – Вып. 1 (29). – С. 12-15.
6. **Харевов, В. Г.** Разработка и внедрение ресурсосберегающих технологий диагностики и ремонта на нефтеперерабатывающих и нефтехимических производствах. Комплексные системы мониторинга [Электронный ресурс]. URL: <http://www.safeprom.ru/articles/detail.php?ID=6843>
7. **Кочкаров, А. А.** Обеспечение стойкости сложных систем. Структурные аспекты / **А. А. Кочкаров, Г. Г. Малинецкий** // *Preprint, Inst. Appl. Math., the Russian Academy of Science*. – 2005. – 32 с.
8. **Ghasemi, A.** Evaluating the reliability function and the mean residual life for equipment with unobservable states / **A. Ghasemi, S. Yacout, M.-S. Ouali** // *IEEE Transactions on Reliability*. – 2010. – 59 (1). – pp. 45-54. – doi: 10.1109/TR.2009.2034947.
9. **Khandelwal, A.** Application of reliability analysis: a technical survey / **A. Khandelwal** // *Int J Sci Eng Res*. – 2011. – 2 (4). – P. 1-8.
10. **Liang, X.** Exact reliability formula for consecutive-k-Out-of-n repairable systems / **X. Liang, Y. Xiong, Z. Li** // *IEEE Transactions on Reliability*. – 2010. – 59 (2). – P. 313-318. – doi: 10.1109/TR.2010.2046790.
11. **Савельева, О. С.** Экспресс-модель надежности сложных систем в САПР / **О. С. Савельева** // *Праці Одеськ. політехн. ун-ту: наук. та наук.-виробн. зб.* – 2011. – Вып. 2 (36). – С. 174-178.
12. **Meeker, W. Q.** Reliability: The other dimension of quality / **W. Q. Meeker, L. A. Escobar** // *Quality Technology & Quantitative Management*. – 2004. – 1 (1) – P. 1-25.
13. **Пурич, Д. А.** Учет связности при диагностике надежности сетевых структур / **Д. А. Пурич** // *Моделирование в прикладных научных исследованиях: сб. матер. XX семинара*. – 2012. – С. 8-10.
14. **Савельева, О. С.** Морфологические модели отказоустойчивости сложных технических систем / **О. С. Савельева, О. Е. Плачинда, Д. А. Пурич** // *Восточно-европейский журнал передовых технологий. Информационные технологии*. – 2011. – 3/2 (51). – С. 39-42.
15. **Ram, M.** Stochastic behaviour analysis of a Markov model under multi-state failures / **M. Ram, M. Manglik** // *International Journal of System Assurance Engineering and Management*. – 2014. – Vol. 5(4). – P. 686-699. – doi: 10.1007/s13198-014-0234-5.
16. **Становский, А. Л.** Исследование корреляционной связи между отказами топологически подобных технических и интеллектуальных систем / **А. Л. Становский, С. Н. Красножон, О. Е. Плачинда** // *Тр. Одесс. политехн. ун-та*. – 2005. – Спецвыпуск. – С. 88-91.

Bibliography (transliterated)

1. **Romanov, V. N.** Tehnika analiza slozhnyh system. SPb.: SZTU, 2011, 287.
2. **Rjabinin, I. A.** Nadezhnost' i bezopasnost' strukturno-slozhnyh system. SPb: SPbGU, 2007, 326.
3. **Kotenko, N. A., Obors'kij, G. A., Savel'eva, O. S.** Morfologicheskie modeli nadezhnosti jenergeticheskogo oborudovaniya. *Modeljuvannya ta informacijni tehnologii: zb. nauk. prac' Institutu problem modeljuvannya v energetici im. G. S. Puhova*, 2010, **58**, 70-75.
4. **Miao, Y., Kang, R., Chen, X.** Reliability Evaluation and Improvement Approach of Chemical Production Man-Machine-Environment System. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, **274** (1), doi: 10.1088/1757-899X/274/1/012004.
5. **Savel'eva, O. S.** Kriterii otkazoustojchivosti tehniceskikh system. *Tr. Odess. politehn. un-ta.*, 2008, **1** (29), 12-15.
6. **Harebov, V. G.** Razrabotka i vnedrenie resursosberegajushhih tehnologii diagnostiki i remonta na nefteperabatvujushhih i neftehimicheskikh proizvodstvah. *Kompleksnye sistemy monitoring*. Available at: <http://www.safeprom.ru/articles/detail.php?ID=6843>
7. **Kochkarov, A. A., Malineckij, G. G.** Obespechenie stojkosti slozhnyh sistem. Strukturnye aspekty. *Preprint, Inst. Appl. Math., the Russian Academy of Science*, 2005, 32.
8. **Ghasemi, A., Yacout, S., Ouali, M.-S.** Evaluating the reliability function and the mean residual life for equipment with unobservable states. *IEEE Transactions on Reliability*, 2010, **59** (1), 45-54, doi: 10.1109/TR.2009.2034947.
9. **Khandelwal, A.** Application of reliability analysis: a technical survey. *Int J Sci Eng Res*, 2011, **2** (4), 1-8.
10. **Liang, X., Xiong, Y., Li, Z.** Exact reliability formula for consecutive-k-Out-of-n repairable systems. *IEEE Transactions on Reliability*, 2010, **59** (2), 313-318, doi: 10.1109/TR.2010.2046790.
11. **Savel'eva, O. S.** Jekspress-model' nadezhnosti slozhnyh sistem v SAPR. *Praci Odes'k. politehn. un-tu: nauk. ta nauk.-virobn. zb.*, 2011, **2** (36), 174-178.
12. **Meeker, W.Q., Escobar, L.A.** Reliability: The other dimension of quality. *Quality Technology & Quantitative Management*, 2004, **1** (1), pp. 1 - 25.
13. **Purich, D. A.** Uchet svjaznosti pri diagnostike nadezhnosti setevyh struktur. *Modelirovanie v prikladnyh nauchnyh issledovanijah: sb. mater. HH seminaru*, 2012, 8-10.
14. **Savel'eva, O. S., Plachinda, O. E., Purich, D. A.** Morfologicheskie modeli otkazoustojchivosti slozhnyh tehniceskikh system. *Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. Informacionnye tehnologii*, 2011, **3/2** (51), 39 – 42.
15. **Ram, M., Manglik, M.** Stochastic behaviour analysis of a Markov model under multi-state failures. *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 2014, **5**(4), 686–699, doi: 10.1007/s13198-014-0234-5.
16. **Stanovskij, A. L., Krasnozhan, S. N., Plachinda, O. E.** Issledovanie korreljacionnoj svjazj mezhdu otkazami topologicheski podobnyh tehniceskikh i intellektual'nyh system. *Tr. Odess. politehn. un-ta.*, 2005, Specvypusk, 88 – 91.

Сведения об авторах (About authors)

Савельева Оксана Степанівна – доктор технічних наук, доцент, Одеський національний політехнічний університет, професор кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування; м. Одеса, Україна; e-mail: okssave@gmail.com.

Oksana Saveleva – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of Oil, Gas and Chemical Mechanical Engineering Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; okssave@gmail.com.

Торопенко Олексій Вікторович – Одеський національний політехнічний університет, аспірант кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування; м. Одеса, Україна; e-mail: alexey.toropenko@geomoras.net.

Oleksii Toropenko – Graduate Student of Oil, Gas and Chemical Mechanical Engineering Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; alexey.toropenko@geomoras.net.

Торопенко Алла Володимирівна – кандидат технічних наук, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування; м. Одеса, Україна; e-mail: alla.androsyk@gmail.com.

Alla Toropenko – Docent of Oil, Gas and Chemical Mechanical Engineering Department, Odessa National Polytechnic University, Odessa, Ukraine; alla.androsyk@gmail.com.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Савельєва, О. С. Застосування інформаційної морфологічної моделі для планування ремонтів хімічного обладнання / **О. С. Савельєва, О. В. Торопенко, А. В. Торопенко** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 141-146. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.20.

Please cite this article as:

Saveleva, O., Toropenko, O., Toropenko, A. Application of the information morphological model for planning of rehabilitation of chemical equipment. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2018, 9 (1285), 141–146, doi:10.20998/2413-4295.2018.09.20.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Савельева, О. С. Применение информационной морфологической модели для планирования ремонта химического оборудования / **О. С. Савельева, А. В. Торопенко, А. В. Торопенко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серія: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2018. – № 9 (1285). – С. 141-146. – doi:10.20998/2413-4295.2018.09.20.

АННОТАЦИЯ Рассмотрена возможность применения информационной структурной технологии определения показателя структурной отказоустойчивости для повышения эффективности планирования технического обслуживания и ремонтов технических объектов. Технология базируется на построении морфологической модели объекта и позволяет получать значения величины вероятности безотказной работы системы при структурном подобию ее модели нейроразнообразной сети. Предложено механическим аналогом повторного обучения сети считать ремонт технических объектов.

Ключевые слова: отказоустойчивость; надежность технических систем; организация ремонтов; моделирование

Поступила (received) 27.02.2018